

УДК 552.321.6:553.08

ХРОМИТИТЫ ХАРЧЕРУЗСКОГО БЛОКА МАССИВА СЫУМ-КЕУ: ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ГЕНЕЗИС РУД (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Юричев Алексей Николаевич¹,
juratur@sibmail.com

Чернышов Алексей Иванович¹,
aich@ggf.tsu.ru

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

Актуальность работы обусловлена необходимостью детального петрологического исследования слабо изученных ультрабазитовых массивов России с позиции их потенциальной рудоносности на хромитовое оруденение, являющееся в настоящее время остродефицитным сырьем для государства.

Цель работы: характеристика петрографических особенностей и химизма хромититов Харчерузского блока массива Сыум-Кеу с целью реконструкции эволюции вещественного состава рудных хромшпинелидов в процессе формирования пород и их последующих метаморфических изменений, геодинамической обстановки формирования исследуемого объекта.

Методы исследования: изучение силикатных и рудных минералов в прозрачных шлифах и аншлифах на поляризационном микроскопе AxioScope Carl Zeiss; оценка химического состава хромшпинелидов на электронном сканирующем микроскопе Tescan Vega II LMU, оборудованном энергодисперсионным спектрометром (с детектором Si (Li) Standard) INCA Energy 350 и волнодисперсионным спектрометром INCA Wave 700.

Результаты. Впервые предпринята попытка детально охарактеризовать хромититы, выявленные среди дунитов в пределах слабоизученного Харчерузского блока массива Сыум-Кеу. По количественной роли хромшпинелидов они разделены на три разновидности: вкрапленные, густовкрапленные и сливные. По текстурным особенностям выделены расщепленные хромититы, которые являются продуктом пластического течения. По химическому составу рудные хромшпинелиды представлены хромитами и алюмохромитами и обнаруживают единый линейный эволюционный тренд, отражающий преобразование их вещественного состава под действием высокobarического динамометаморфизма. Данный процесс сопровождался выносом из хромшпинелидов магния и алюминия и увеличением их хромистости, что приводило к естественному «облагораживанию» последних. Вторая стадия преобразования, связанная с более поздними процессами наложенного регионального метаморфизма, несущественно повлияла на химический состав рудных хромшпинелидов и связана с незначительным переходом закисного железа в окисное. Изученные хромшпинелиды отвечают минералам верхнемантийного субстрата с высокой степенью частичного плавления (29...40 %), которое происходило в зоне спрединга, расположенного рядом с горячей точкой. В дальнейшем в островодужной системе эта аномальная океаническая литосферная мантия подверглась взаимодействию с бонинитовыми расплавами, инициированными субдукцией, что привело к появлению дунитов и хромититов с явными характеристиками надсубдукционных перидотитов.

Ключевые слова:

Реститы, ультрамафиты, хромититы, хромшпинелиды, химизм, генезис, геодинамическая обстановка.

Введение

Ультрамафиты офиолитовых комплексов вызывают интерес геологов как с позиции генезиса, учитывая их мантийную природу образования и связь с ранними этапами развития складчатых сооружений, так и с позиции рудоносности. Они являются источником рудных и нерудных полезных ископаемых – Cr, ЭПГ, Au, Co, Ni, асбеста, брусита, магнезита, мзеевика и др. Внимание к объектам данного типа, как единственным источникам хромитового сырья, в России резко возросло после распада СССР, когда крупнейшие в мире хромитовые месторождения в офиолитовых комплексах Южного Урала отошли Казахстану и государство столкнулось с острым дефицитом легирующих добавок для черной металлургии.

Харчерузский блок до настоящего времени остается малоизученным в отличие от основного тела массива Сыум-Кеу, в котором ранее проведены детальные петрологические исследования [1–4]. В данной статье рассматриваются петрографические особенности и химизм хромититовых тел, вы-

явленных в пределах Харчерузского блока, а также предпринимается попытка проследить эволюцию вещественного состава хромшпинелидов на стадии формирования пород и их последующего метаморфического преобразования, смоделировать геодинамическую обстановку формирования исследуемого объекта.

Краткая геологическая характеристика исследуемого объекта

Харчерузский блок ультрамафитового массива Сыум-Кеу является южным фрагментом Хадатинского офиолитового пояса, который замыкает на севере офиолитовые комплексы Полярного Урала (рис. 1) [5]. Согласно геолого-геофизическим данным, полученным при проведении групповой геологической съемки масштаба 1:50000 (по данным А.К. Афанасьева, 1984 г.), он представлен самостоятельным телом, отделенным от более крупного ультрамафитового массива Сыум-Кеу метаморфизованными габбро и амфиболитами, и, вероятно, является эрозивно-тектоническим клипом от данного массива.

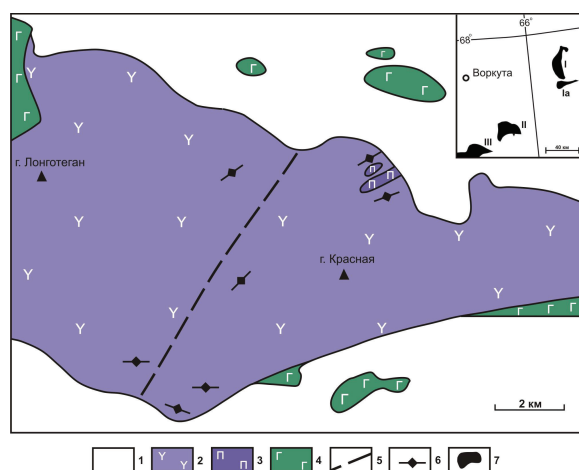


Рис. 1. Геологическое строение Харчерузского блока массива Сыум-Кей и его географическое положение в структуре Полярного Урала: 1 – четвертичные отложения; 2 – дуниты, гарцбургиты; 3 – верлиты, клинопироксениты; 4 – габброиды; 5 – геологический разлом; 6 – залегание хромитовых тел; 7 – массивы ультрамафитов: I – Сыум-Кей (Ia – Харчерузский блок), II – Рай-Из, III – Войкарский

Fig. 1. Geological structure of Kharcheruz block of Syum-Keu massif and its geographical position in structure of the Polar Urals: 1 are the quaternary deposits; 2 are the dunites, harzburgites; 3 are the wehrlites, clinopyroxenites; 4 are the gabbro; 5 is the geological fault; 6 is the position of chromite bodies; 7 are the ultramafic massifs: I – Syum-Keu (Ia – Kharcheruz block), II – Rai-Iz, III – Voykarsky

Морфологически Харчерузский блок представляет собой клинообразное тело субширотного простирания, которое выклинивается на восток, его протяженность составляет ~18 км, при максимальной ширине в западной части 7 км (рис. 1). Массив разделен разломом северо-восточного простирания на западную и восточную части и сложен, главным образом, дунитами, среди которых очень редко встречаются гарцбургиты. Отмечаются также мелкие тела габброидов, обычно интенсивно метасоматически измененные. В экзоконтактовых зонах габброидов устанавливаются верлиты и клинопироксениты, которые, вероятно, являются высокотемпературными реакционно-метасоматическими образованиями.

Дуниты имеют средне-, крупнозернистое строение и часто обладают «свежим» неизменным обликом со светло-желтой корочкой выветривания. Реже они в различной степени серпентинизированы и часто тремолитизированы. Черные зерна хромшпинелидов отчетливо выделяются на светло-желтых корочках выветривания и наблюдаются в виде спорадической, очень редкой, мелкой акцессорной вкрапленности. Их содержание обычно менее 1 %, редко в участках сегрегации до 5...10 %, в рудных зонах их содержание существенно возрастает.

Среди дунитов выявлены линейные и линзообразные тела хромититов, имеющие преимуще-

ственно субширотное простирание. Мощность отдельных тел обычно менее 1 м при протяженности до 10 м. Рудные тела нередко группируются в рудные субширотные зоны, в которых количество хромшпинелидов существенно возрастает и может значительно варьировать – от 10 до 50...90 %, с образованием от убоговкрапленных до густовкрапленных и сплошных руд. Иногда в рудных зонах отмечается полосчатое строение, обусловленное различной концентрацией хромшпинелидов. Ширина отдельных полос обычно 0,5...2,0 м. Полосчатость ориентирована диагонально к простиранию рудных зон и согласно с кливажом пластического течения северо-восточного простирания.

Ультрамафиты блока претерпели интенсивные пластические деформации и постоянно обнаруживают признаки метаморфических пород в виде уплощенности зерен оливина, а также кливажа пластического течения, представленного очень тонкой плитчатой отдельностью [4, 6].

Методика исследования

Петрографическое изучение хромититов Харчерузского блока осуществлялось в проходящем и отраженном свете на поляризационном микроскопе Axioscop 40 Pol. Анализ их вещественного состава выполнен методом рентгеноспектрального микроанализа [7] на электронном сканирующем микроскопе «Tescan Vega II LMU», оборудованном энергодисперсионным спектрометром (с детектором Si (Li) Standard) INCA Energy 350 и волнодисперсионным спектрометром INCA Wave 700 в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» ТГУ (г. Томск). Для этого из отобранных образцов хромититов с разной степенью вкрапленности были изготовлены плоскопараллельные шлифы толщиной 3...4 мм по рекомендуемым методикам [7]. Перед проведением анализов на исследуемые поверхности предварительно напыляли слой углерода толщиной 25...30 нм. Последующие расчеты химических составов проводились по программе INCA-Issue 18b и по дополнительным авторским программам.

Петрографическая характеристика хромититов

Хромититы встречаются редко среди дунитов в виде небольших обособлений. Среди них авторами по количественной роли хромшпинелидов и структуре выделено три разновидности: вкрапленные, густовкрапленные и сливные.

Хромититы вкрапленные. Структура мелко-, среднезернистая, текстура однородная, иногда сланцеватая. Часто отмечается трещиноватость. Количественно-минералогический состав: хромшпинелиды ~ 55...60 %, хлорит, антигорит ~ 35...50 %. Отмечаются оливин, лизардит, хризотил, антигорит, тальк, шпинель.

Зерна хромшпинелидов имеют субизометрическую, неправильную форму, обычно с плавными, прямолинейными границами (рис. 2, а–б). В слан-

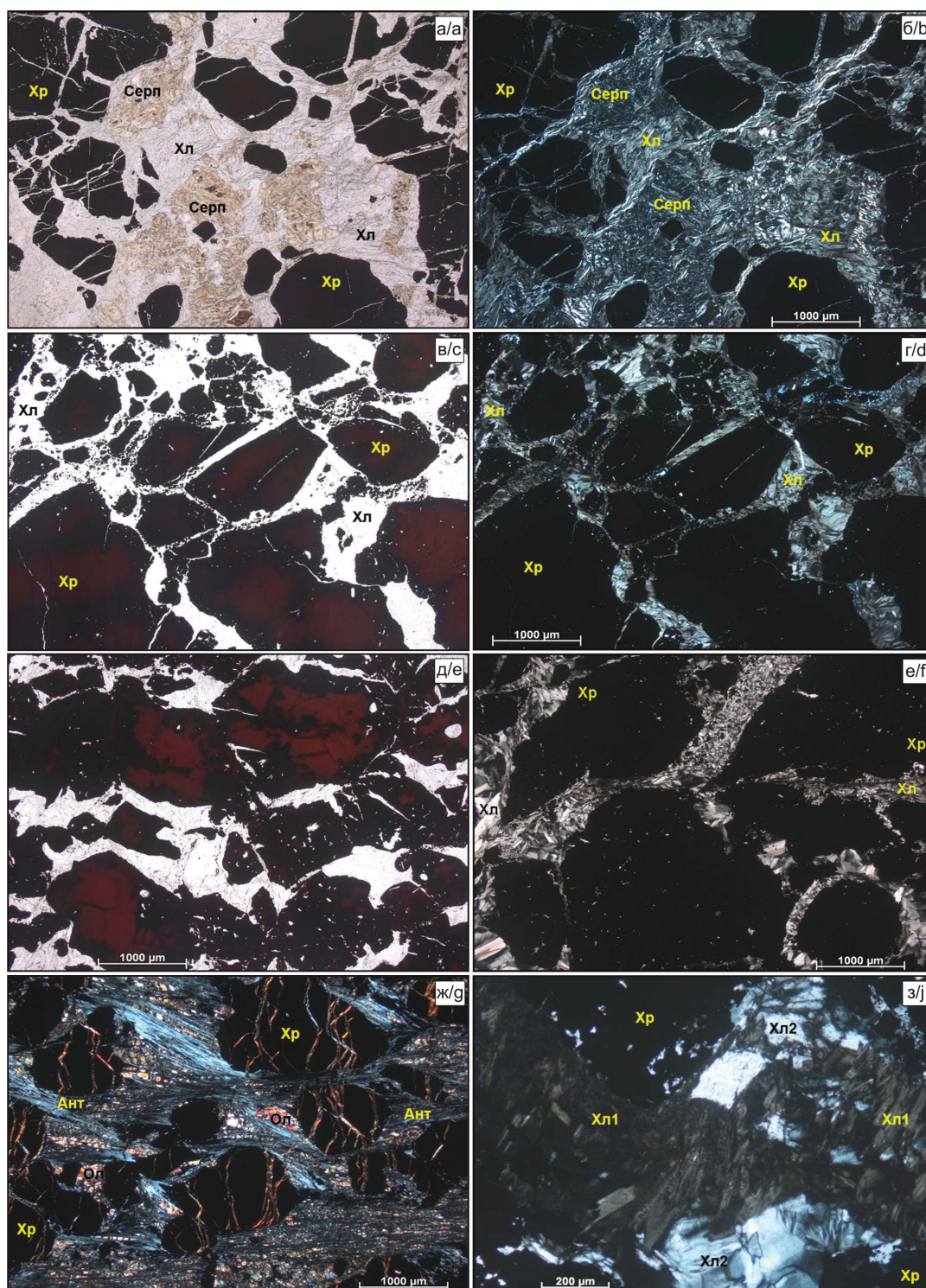


Рис. 2. Хромититы Харчерузского блока массива Сыум-Кей: а-б – вкрапленный, николи параллельны и скрещены соответственно; в-г – густовкрапленный, николи параллельны и скрещены соответственно; д-е – сливной, николи параллельны и скрещены соответственно; ж – вкрапленный сланцеватый, николи скрещены; з – хлорит двух модификаций в сливном хромитите, николи скрещены. Хр – хромшпинелид, Ол – оливин, Серп – серпентинит, Ант – антигорит, Хл – хлорит

Fig. 2. Chromitites from Kharcheruz block of Syum-Keu mass: а-б – interspersed, parallel and crossed nicols, respectively; в-г – thickly interspersed, parallel and crossed nicols, respectively; д-е – drain, parallel and crossed nicols, respectively; ж – interspersed shaly, crossed nicols; з – chlorite of two modifications in drain chromitite, nicols are crossed. Хр – chromosphinelides, Ол – olivine, Серп – serpentinite, Ант – antigorite, Хл – chlorite

цеватых хромититах зерна имеют округлую, удлиненную и линзовидную форму и ориентированы субпараллельно (рис. 2, ж).

Нередко встречаются дезинтегрированные, раздробленные индивиды с неправильной, угловатой формой. Размер зерен хромшпинелидов изменяется от долей до 4 мм, чаще 1...2 мм. Иногда они образуют между собой тесные срастания. Хромшпинелиды просвечивают темным красно-бурым цветом, а по краям и вдоль трещинок – черным, вследствие замещения магнетитом. Иногда в зернах хромшпинелидов отмечаются субпараллельные трещинки спайности, редко в трех направлениях под углом ~ 60°, с образованием треугольных выколов. В них часто отмечаются мелкие пойкилитовые включения серпентинизированного оливина и хлорита. Зерна хромшпинелидов часто разбиты трещинками, выполненными тонкими поперечно-волокнистыми жилками хризотил-лизардитового состава, при этом волокна хризотила положительные, а лизардита – отрицательные.

Цементирующая масса сложена мелкочешуйчатыми серпентин-хлоритовыми агрегатами с различными количественными сочетаниями минералов на разных участках, иногда вплоть до мономинеральных (рис. 2, а–б). Серовато-бурые серпентиновые агрегаты имеют микрозернистое строение и лизардит-хризотилловый состав. В других случаях цементирующая масса представлена тонкозернистыми агрегатами антигорита, среди которых иногда наблюдаются фрагменты уцелевших зерен оливина. Отмечаются чешуйки хлорита и талька.

Иногда цементирующая гранолепидобластовая масса обнаруживает отчетливо *сланцеватую* текстуру (рис. 2, ж), она плавно огибает вкрапленные зерна хромшпинелидов и придает им форму будин. При этом основная масса преимущественно сложена игольчатыми индивидами антигорита, которые вытягиваются субпараллельно и отражают направление сланцеватости. Среди антигорита отмечаются мелкие, мозаичные зерна оливина с размерами менее 0,1 мм. В основной массе также отмечается тонкая вкрапленность магнетита с размерами индивидов менее 0,5 мм, которые, вероятно, возникли в результате дезинтеграции краевых частей зерен хромшпинелидов с последующим их растаскиванием вдоль сланцеватости.

Хромититы густовкрапленные. Структура мелко-, среднезернистая, текстура однородная, нередко отмечается интенсивная трещиноватость. Количественно-минералогический состав: хромшпинелиды ~ 75...85 %, оливин, антигорит, хлорит ~ 15...25 %, отмечаются кальцит, брусит.

Хромшпинелиды в одних случаях наблюдаются преимущественно в виде отдельных обособленных зерен, реже в виде их тесных срастаний. Размер зерен составляет 1,0...2,5 мм. Они имеют субизометричную, чаще неправильную форму с плавными границами. В других случаях хромшпинелиды представлены многочисленными разнове-

ликими обломками, которые образовались в результате интенсивного проявления трещиноватости, сопровождающейся дезинтеграцией как отдельных зерен, так и сростков (рис. 2, в–г). Обломки имеют как округлую, так и остроугольную форму, их размер изменяется от долей до 4...5 мм. Трещинки в зернах и обломках часто выполнены тонкими жилками хлорита. Границы индивидов прямолинейные либо округлые, заливообразные. По краям они обычно резорбированы и часто дезинтегрированы на очень мелкие индивиды. Хромшпинелиды имеют вишнево-красный цвет, а по краям и трещинкам – черный, вследствие замещения магнетитом. Мелкие индивиды обычно полностью черные.

Промежутки между зернами, сростками и обломками хромшпинелидов и трещины в них выполнены преимущественно бесцветными агрегатами хлорита (рис. 2, в–г). Нередко в центральных частях интерстиций наблюдаются реликты зерен оливина, замещающиеся магнетитом и игольчатыми индивидами антигорита. Последний часто разрушает тесные срастания с хлоритом, среди которых наблюдаются редкие мелкие агрегативные скопления кальцита и единичные пластинчатые зерна брусита.

Хромититы сливные имеют однородную текстуру с наложенной директивностью, отмечается обильная трещиноватость.

Они представляют собой сливные агрегаты хромшпинелидов, которые разбиты многочисленными субпараллельными трещинками на остроугольные обломки, часто вытянутой формы. Обломки обнаруживают предпочтительную ориентировку и отражают направление наложенной директивности (рис. 2, д–е). Размер обломков по длине до 7...8 мм. Они имеют преимущественно прямолинейные границы, реже округлые. Края их часто резорбированы и нередко дезинтегрированы. Крупные обломки имеют вишнево-красный цвет, либо темный красно-бурый, однако по периферии и трещинкам приобретают черный вследствие замещения магнетитом. Обломки неравномерно насыщены пойкилобластовыми включениями хлорита (менее 0,1 мм), от их почти полного отсутствия до обильных ситовидных выделений.

Трещинки и промежутки между обломками хромититов заполнены хлоритом двух модификаций (рис. 2, з). Первая, ранняя, представлена крипто- и микрозернистыми агрегатами, имеющими зеленовато-серые оттенки. В скрещенных николях для них характерны аномально низкие темно-синие и буровато-серые цвета интерференции. Вторая модификация хлорита, очевидно, образовалась в результате перекристаллизации первой с образованием тонко- и мелкозернистых чешуйчатых лепидобластовых бесцветных агрегатов с размером чешуек до 1 мм. Они обычно пластически деформированы (характерны изгибы и многочисленные полосы пластического излома), в скре-

щенных николях обнаруживают от серого до белого цвета интерференции. Пойкилобластовые включения хлорита в хромититах представлены второй модификацией.

Рудная минерализация

Проведенные исследования показывают, что все проанализированные хромшпинелиды в целом характеризуются высокохромистым составом

($\text{Cr}_2\text{O}_3=49,0...63,5\%$) и очень слабо метаморфизованы. В химическом составе постоянно отмечаются NiO (до 0,21 %), ZnO (до 0,38 %) и V_2O_5 (до 0,22 %).

Согласно классификационной диаграмме Н.В. Павлова [8], все рудные хромшпинелиды из густовкрапленных и рассланцованных шпинелидов соответствуют по химическому составу хромитам, а хромшпинелиды из вкрапленных хромититов примерно в равной мере представлены алюмохромитом и

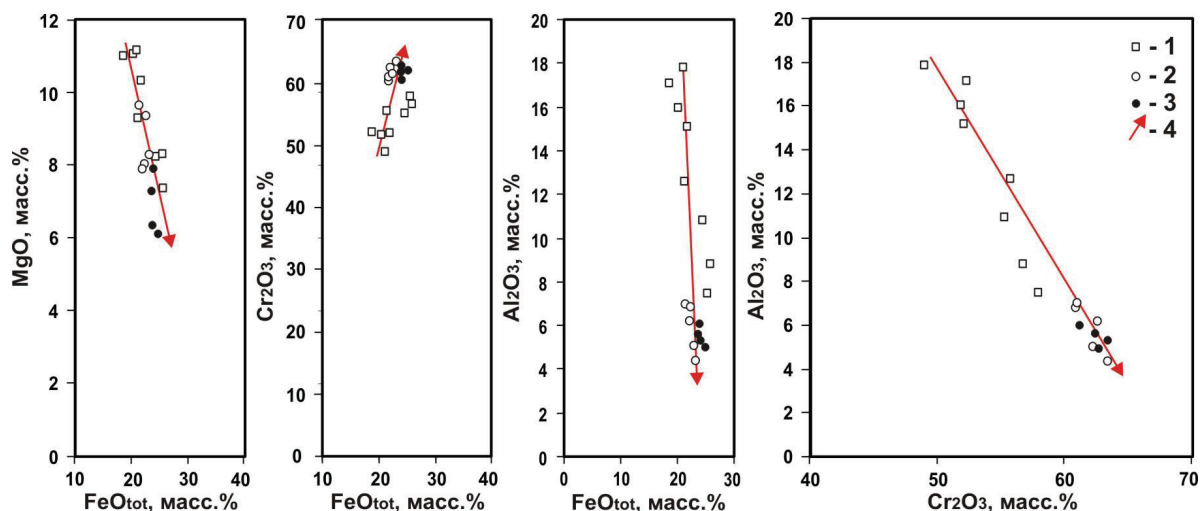


Рис. 3. Бинарные диаграммы для хромшпинелидов из хромититов Харчерузского блока. Условные обозначения здесь и далее: 1 – вкрапленные хромититы; 2 – густовкрапленные хромититы; 3 – рассланцованные хромититы; 4 – эволюционный тренд составов хромшпинелидов, отражающий степень реститирования вмещающих их хромититов

Fig. 3. Binary diagrams for chromosphenelides from chromitites of Kharcheruz block. Legend is hereinafter: 1 are the interspersed chromites; 2 are the thickly interspersed chromitites; 3 are the schistose chromitites; 4 is the evolution trend of composition of chromosphenelides reflecting the restitic degree of chromitites, enclosing them

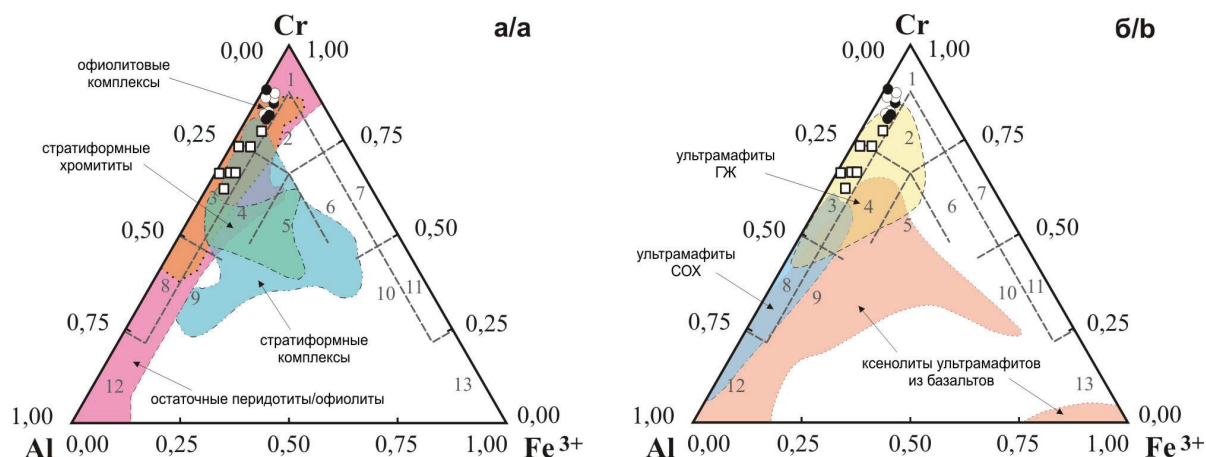


Рис. 4. Составы хромшпинелидов из хромититов Харчерузского блока на классификационной диаграмме Н.В. Павлова [8]: 1 – хромиты; 2 – субферрихромиты; 3 – алюмохромиты; 4 – субферриалюмохромиты; 5 – ферриалюмохромиты; 6 – субалюмоферрихромиты; 7 – феррихромиты; 8 – хромпикотиты; 9 – субферрихромпикотиты; 10 – субалюмохроммагнетиты; 11 – хроммагнетиты; 12 – пикотиты; 13 – магнетиты. Диаграмма (а) отражает генетический тип хромититов [11], диаграмма (б) – геодинамическую обстановку формирования [12]

Fig. 4. Composition of chromosphenelides from chromitites of Kharcheruz block on classification diagram of N.V. Pavlov [8]: 1 are the chromites; 2) sub-ferri-chromites; 3 are the chromohercynites; 4 are the sub-ferri-chromohercynites; 5 are the ferri-chromohercynites; 6 are the sub-alumina-ferri-chromites; 7 are the ferri-chromites; 8 are the chrompicotites; 9 are the sub-ferri-chrompicotites; 10 are the sub-alumina-chrome-magnetites; 11 are the chrome-magnetites; 12 are the picotites; 13 are the magnetites. The diagram (a) shows the genetic type of chromitites [11], the diagram (b) demonstrates geodynamic conditions of formation [12]

хромитом (рис. 3, 4). Алумохромиты, очевидно, являются более ранними разновидностями хромшпинелидов по отношению к хромитам, о чем свидетельствуют их более высокие значения глиноземистости и магнезиальности при более низкой хромистости. Для них характерны также относительно повышенные содержания TiO_2 и ZnO (таблица).

На рис. 3 фигуративные точки составов хромшпинелидов образуют линейно вытянутый ряд точек, через который можно провести эволюционный тренд, отражающий преобразование вещественного состава хромшпинелей в процессе высокобарического динамометаморфизма, а также

степень рестирования вмещающих их ультрамафитов [9–10]. Увеличение степени плавления рести́та (рис. 5, а) сопровождается возрастанием хромистости и железистости при уменьшении глиноземистости и магнезиальности (рис. 3), что характерно для мантийных рести́тогенных ультрамафитов [14–18] и служит дополнительным свидетельством рести́товой природы пород Харчерузского блока.

Положение фигуративных точек составов шпинелидов на треугольной диаграмме (рис. 4, а) и диаграмме J.M. Ghazi с соавторами (рис. 5, б) также указывает на генетическую связь изученных хро-

Таблица. Составы хромшпинелидов из хромититов Харчерузского блока, мас. %

Table. Composition of chromosphinelides from chromitites of Kharcheruz block, wt. %

Элем-т Element	Вкрапленная структура Interspersed structure							Густовкрапленная структура Thickly interspersed structure					Рассланцованная текстура Schistose texture			
	Хромит/Chromite			Алюмохромит/Chromohercynite				Хромит/Chromite					Хромит/Chromite			
MgO	8,27	7,37	8,34	10,34	11,15	11,10	11,03	8,31	8,05	9,38	9,64	7,93	7,35	8,00	6,19	6,43
Al ₂ O ₃	10,87	8,84	7,49	15,18	17,92	16,06	17,18	5,08	4,41	6,93	7,00	6,19	5,84	6,20	5,16	5,50
TiO ₂	0,14	0,33	0,21	0,13	0,17	–	0,09	0,19	0,19	0,05	0,10	0,06	–	0,03	0,04	0,02
V ₂ O ₅	0,22	0,17	0,14	0,12	0,13	0,13	0,08	0,22	0,15	0,03	0,08	0,16	0,08	0,07	0,20	0,09
Cr ₂ O ₃	55,24	56,81	57,90	52,12	48,99	51,90	52,27	62,27	63,38	60,89	60,99	62,60	62,42	61,21	62,67	63,45
MnO	0,60	0,44	0,60	0,32	0,55	0,32	0,50	0,49	0,62	0,33	0,50	0,80	0,60	0,48	0,59	0,51
FeO _{общ}	24,33	25,66	25,29	21,60	20,92	20,24	18,56	23,18	23,12	22,21	21,40	22,11	23,60	23,86	24,82	23,79
ZnO	0,25	0,38	–	0,13	0,03	0,19	0,11	0,18	0,03	–	0,08	0,06	0,03	0,06	0,14	0,15
NiO	0,07	–	0,03	0,06	0,14	0,06	0,18	0,07	0,06	0,17	0,21	0,08	0,08	0,08	0,18	0,07
Сумма Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Примечание. Определение химического состава осуществлялось на электронном сканирующем микроскопе Tescan Vega II LMU, оборудованном энергодисперсионным спектрометром (с детектором Si (Li) Standard) INCA Energy 350 и волнодисперсионным спектрометром INCA Wave 700 в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» ТГУ (г. Томск), оператор А.С. Кульков.

Note. Chemical composition was determined on electron scanning microscope «Tescan Vega II LMU» equipped with energy-dispersive spectrometer (with detector Si (Li) Standard) INCA Energy 350 and wave-dispersive spectrometer INCA Wave 700 at «Analytic center of natural system geochemistry» TSU (Tomsk), the operator is A.S. Kulkov.

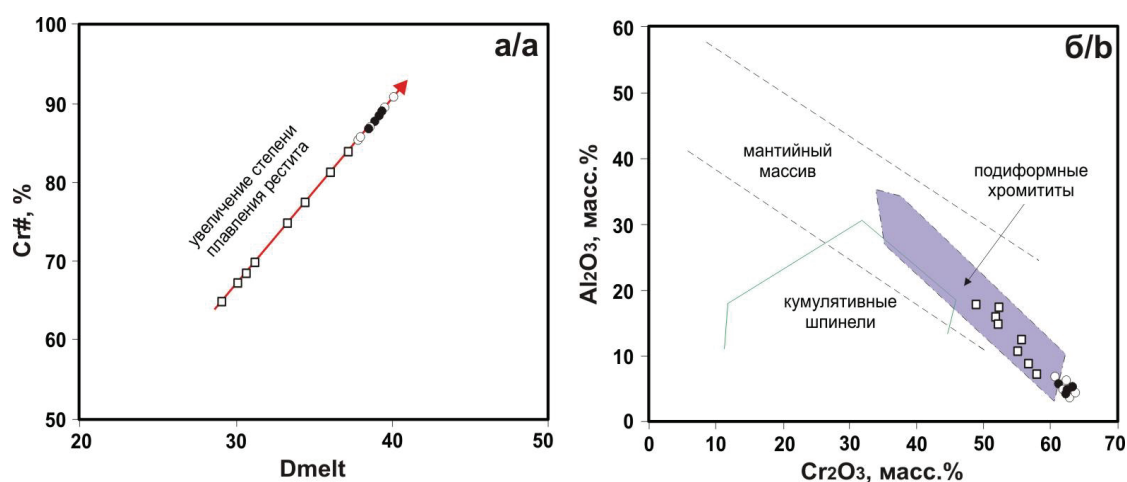


Рис. 5. Бинарные диаграммы для хромшпинелидов из хромититов Харчерузского блока. График (а) отражает зависимость значений параметра Cr# хромшпинелидов от степени частичного плавления лерцолита Dmelt (по экспериментальным данным [13]): $Cr\# = [Cr/(Cr+Al)] \cdot 100\%$; $Dmelt = 0,426 \cdot Cr\# + 1,538$. Диаграмма (б) отражает происхождение хромититов и их тип [11]

Fig. 5. Binary diagrams for chromosphinelides from chromitites of Kharcheruz block. The diagram (a) reflects the dependence of Cr# parameter values of chromosphinelides on the degree of Dmelt lherzolite partial melting (by the experimental data [13]): $Cr\# = [Cr/(Cr+Al)] \cdot 100\%$; $Dmelt = 0,426 \cdot Cr\# + 1,538$. The diagram (b) represents the origin and type of chromitites [11]

мититов с офиолитовыми мантийными ультрамафитами и их отнесение к подиформному типу.

Оценка химического состава хромшпинелидов с использованием экспериментальных данных [13] позволила определить степень частичного плавления мантийного субстрата при формировании хромититов Харчерузского блока. Согласно расчетам и графическим построениям (рис. 5, а), данные породы формировались при вариации степени частичного плавления мантийного источника 29...40 %.

Для оценки геодинамической обстановки формирования Харчерузского блока авторами были привлечены диаграммы зарубежных ученых по данному направлению исследований (рис. 4, б; рис. 6, а, в).

На треугольной диаграмме Al–Cr–Fe³⁺ фигуративные точки составов в большинстве своем попадают в область ультрамафитов глубоководных желобов, на бинарной диаграмме TiO₂–Cr# – в область бонинитов, на бинарной диаграмме Mg#–Cr# – в область океанических надсубдукционных перидотитов. Такие наблюдения позволяют предположить сложную многостадийную тектоническую историю хромититов Харчерузского блока. Очевидно, плавление исходного рестита происходило в зоне спрединга, расположенного рядом с горячей точкой. В дальнейшем, в островодужной системе, эта аномальная океаническая литосферная мантия подверглась взаимодействию с бонинитовыми расплавами, инициированными субдукцией. Это привело к появлению дунитов и хромититов с явными характеристиками надсубдукционных перидотитов.

Обсуждение результатов и выводы

Впервые в данной работе, используя комплексный подход, предпринята попытка охарактеризовать хромититы, выявленные среди дунитов в пределах слабоизученного Харчерузского блока массива Сыум-Кеу.

Полученные результаты позволили авторам по количественной роли хромшпинелидов разделить хромититы на три разновидности: вкрапленные, густовкрапленные и сливные, а по текстурным особенностям – на однородные и рассланцованные хромититы. Последние, очевидно, являются продуктом пластического течения в процессе динамометаморфизма.

По химическому составу хромшпинелиды из хромититов представлены хромитами и алюмохромитами с преобладанием первых. Их фигуративные точки составов обнаруживают единый линейный эволюционный тренд, который отражает преобразование вещественного состава хромшпинелидов под действием высокобарического динамометаморфизма, связанного с процессами деформаций, скупчивания океанической литосферы и ее аккреции на пассивную окраину континента. Данный процесс, как следует из построенных диаграмм (рис. 3, 4), сопровождался выносом из рудных хромшпинелидов магния и алюминия и увеличением их хромистости, что приводило к естественному «облагораживанию» последних. Развитие такого механизма «облагораживания» получило подтверждение экспериментальными исследованиями [21–22], а также находками минералов высоких и сверхвысоких давлений (алмаз, карбиды кремния, псевдоморфы октаэдрического оливина, корунд, циркон, гранат

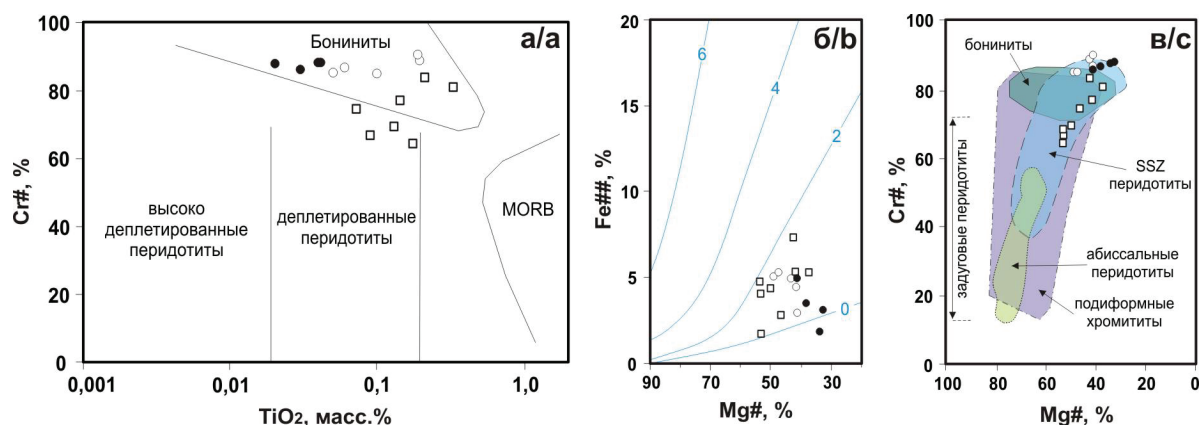


Рис. 6. Бинарные диаграммы для хромшпинелидов из хромититов Харчерузского блока, отражающие условия и геодинамическую обстановку их формирования [11, 19]. Линии на диаграмме (б) представляют теоретические изобары для чистого (Mg,Fe)Cr₂O₄ [20], значения указаны в Кбар. Cr#=[Cr/(Cr+Al)]·100 %; Mg#=[Mg/(Mg+Fe²⁺)]·100 %; Fe##=[Fe³⁺/(Fe³⁺+Cr+Al)]·100 %; SSZ перидотиты – океанические надсубдукционные перидотиты

Fig. 6. Binary diagrams for chromophenelides from chromitites of Kharcheruz block, reflecting conditions and geodynamic position of their formation [11, 19]. The lines in the diagram (b) represent the theoretical isobars for pure (Mg,Fe)Cr₂O₄ [20], the values are indicated in Kbar. Cr#=[Cr/(Cr+Al)]·100 %; Mg#=[Mg/(Mg+Fe²⁺)]·100 %; Fe##=[Fe³⁺/(Fe³⁺+Cr+Al)]·100 %; SSZ peridotites are the oceanic above-subduction peridotites

и др.) в хромититах ультрамафитовых массивов Полярного Урала [23–25].

Вторая стадия преобразования хромшпинелидов, связанная с более поздними процессами наложенного приповерхностного регионального метаморфизма (давления не более 2 Кбар, рис. 6, б), не существенно повлияла на химический состав рудных хромшпинелидов из хромититов и в основном связана с незначительным окислением закисного железа в окисное. При этом авторами отмечено, что по мере увеличения густоты вкрапленности в рудной зоне отмечается увеличение качества хромшпинелидов (табл., рис. 4). Данная особенность на примере других объектов отмечалась ранее [16, 18, 26–27] и, очевидно, обусловлена кинетическим фактором, который выражается в сокращении интенсивности и степени завершенности наложенных метаморфических процессов при увеличении густоты вкрапленности хромитовых руд и размеров рудных тел [28]. В пользу последнего свидетельствуют более низкие значения хрома при

более высоких значениях суммарного железа и цинка в химических составах аксессуарных вкрапленных шпинелидов, что отражает большую степень воздействия на них процессов метаморфизма. Данная закономерность, с учетом пострудных процессов, дает возможность впоследствии спрогнозировать состав и технологическую сортность скрытых рудных залежей по составу повсеместно распространенного аксессуарного хромшпинелида.

По своему химическому составу изученные хромшпинелиды отвечают минералам верхнемантийного субстрата с высокой степенью частичного плавления (29...40 %), которое происходило в зоне спрединга, расположенного рядом с горячей точкой [29]. В дальнейшем, в островодужной системе, эта аномальная океаническая литосферная мантия подверглась взаимодействию с бонинитовыми расплавами, инициированными субдукцией, что впоследствии привело к появлению дунитов и хромитов с явными характеристиками надсубдукционных перидотитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельева Г.Н., Суслов П.В. Структура и состав мантийных перидотитов на границе с коровыми комплексами офиолитов в массиве Сыумкей, Полярный Урал // Геотектоника. – 2014. – № 5. – С. 3–16.
2. Шмелев В.Р. Гипербазиты массива Сыум-Кей (Полярный Урал). Структура, петрология, динамометаморфизм. – Екатеринбург: УрО АН СССР, 1991. – 79 с.
3. Shmелеv V.R. Mantle ultrabasites of ophiolite complexes in the Polar Urals: petrogenesis and geodynamic environments // Petrology. – 2011. – V. 19. – № 6. – P. 618–640.
4. Chernyshov A.I., Yurichev A.N. The Structural Evolution of Dunite and Chromite Ore from the Kharcheruz Massif, the Polar Urals // Geotectonics. – 2016. – V. 50. – № 2. – P. 196–208.
5. Петрология и метаморфизм древних офиолитов (на примере Полярного Урала и Западного Саяна) / Н.Л. Добрецов, Ю.Е. Молдаванцев, А.П. Казак, Л.Г. Пономарева, Г.Н. Савельева, А.А. Савельев. – Новосибирск: Наука, 1977. – 221 с.
6. Чернышов А.И. Ультрамафиты (пластическое течение, структурная и петроструктурная неоднородность). – Томск: Чародей, 2001. – 214 с.
7. Reed S.J.B. Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology. – N.Y.: Cambridge University Press, 2005. – 189 p.
8. Павлов Н.В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // Труды Геологического института РАН. – 1949. – Вып. 103. – № 3. – 91 с.
9. Юричев А.Н. Аксессуарные шпинелиды из ультрамафитов: индикаторы условий формирования // Руды и металлы. – 2013. – № 6. – С. 30–34.
10. Юричев А.Н., Чернышов А.И. Эволюция составов шпинелиевой минерализации из различных формационных типов мафит-ультрамафитовых комплексов Канской глыбы (Восточный Саян) // Отечественная геология. – 2012. – № 2. – С. 42–50.
11. The geodynamic setting of the Nain ophiolites, Central Iran: evidence from chromian spinels in the chromitites and associated rocks / J.M. Ghazi, M. Moazzen, M. Rahghoshay, H.S. Moghadam // Ophiolite. – 2011. – V. 36. – № 1. – P. 59–76.
12. Barnes S.J., Roeder P.L. The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks // Journal of petrology. – 2001. – V. 42. – № 12. – P. 2279–2302.
13. Леснов Ф.П., Подлипский М.Ю. Геохимия аксессуарных хромшпинелидов из пород Эргакского хромитового гипербазитового массива и условия его формирования (Западный Саян) // ДАН. – 2008. – Т. 422. – № 5. – С. 660–664.
14. Dick H.J.B., Bullen T. Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas // Contrib. Mineral. Petrol. – 1984. – V. 84. – P. 54–76.
15. Макиев А.Б. Минералогия альпинотипных ультрабазитов Урала. – СПб.: Наука, 1992. – 197 с.
16. Юричев А.Н., Чернышов А.И., Кульков А.С. Рудная минерализация Агардагского ультрамафитового массива (Республика Тыва) // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 1. – С. 130–136.
17. Перевозчиков Б.В., Плотников А.В., Макиев Т.Т. Природа вариаций состава рудной и аксессуарной хромшпинели ультрабазитового массива Сыум-Кей (Полярный Урал) // Известия вузов. Геология и разведка. – 2007. – № 4. – С. 32–39.
18. Юричев А.Н. Калнинский ультрамафитовый массив Западного Саяна: рудная минерализация и ее генетическая природа // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326. – № 2. – С. 61–69.
19. Petrogenesis of the Ophiolitic Giant Chromite Deposits of Kempirsai, Kazakhstan: a Study of Solid and Fluid Inclusions in Chromite / F. Melcher, W. Grum, G. Simon, T.V. Thalhammer, E.F. Stumpf // Journal of Petrology. – 1997. – V. 38. – № 10. – P. 1419–1458.
20. Irvine T.N. Chromian spinel as a petrogenetic indicator. 1. Theory // Can. J. Earth Sci. – 1965. – V. 2. – P. 648–672.
21. Turkin A.I., Sobolev N.V. Pyrope-knorringite garnets: overview of experimental data and natural parageneses // Russian Geology and Geophysics. – 2009. – V. 50. – № 12. – P. 1169–1182.
22. Garnet-spinel-olivine-orthopyroxene equilibria in the FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-Cr₂O₃ system: I. Composition and molar volumes of minerals / G.P. Brey, A.M. Doroshev, A.V. Gurnis, A.I. Turkin // Eur. J. Mineral. – 1999. – V. 11. – № 4. – P. 599–617.
23. Суставов С.Г., Вахрушева Н.В. Хромовый рutil в хромититах Енгайской площади массива Рай-Из // Вестник Уральского отделения Российского минералогического общества. – 2010. – № 7. – С. 159–162.
24. Discovery of diamond and an unusual mineral group from the podiform chromite ore Polar Ural / J. Yang, W. Bai, Q. Fang,

- F. Meng, S. Chen, Zh. Zhang, H. Rong // *Geology in China*. – 2007. – V. 34. – P. 950–953.
25. Diamonds, native elements and metal alloys from chromitites of the Ray-Iz ophiolite of the Polar Urals / J. Yang, F. Meng, X. Xu, P.T. Robinson, Y.D. Dilek, A.B. Makeyev, R. Wirth, M. Wiedenbeck, J. Cliff // *Gondwana Research*. – 2015. – V. 27. – № 2. – P. 459–485.
26. Макеев А.В., Брянцианинова Н.И. Топоминералогия ультрабазитов Полярного Урала. – СПб.: Наука, 1999. – 252 с.
27. Перевозчиков Б.В., Набиуллин В.И. Методические основы оценки ресурсного потенциала хромовых руд офиолитовых ультрабазитов // *Вестник Пермского университета. Геология*. – 2007. – № 4. – С. 91–105.
28. Пучков В.Н., Штейнберг Д.С. Строение, эволюция и минерогения гипербазитового массива Рай-Из. – Свердловск: Уро АН СССР, 1990. – 228 с.
29. Peridotites from the Kamchatsky mys: evidence of oceanic mantle melting near a hotspot / V.G. Batanova, A.V. Sobolev, Z.E. Lyaskovskaya, G.N. Savelieva // *Russian Geology and Geophysics*. – 2014. – V. 55. – № 12. – P. 1395–1403.

Поступила 23.06.2016 г.

Информация об авторах

Юричев А.Н., кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры петрографии геолого-географического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета.

Чернышов А.И., доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой петрографии геолого-географического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета.

UDC 552.321.6:553.08

CHROMITITES OF KHARCHERUZ BLOCK OF SYUM-KEU MASSIF: ORE COMPOSITION AND GENESIS (POLAR URAL)

Alexey N. Yurichev¹,

juratur@sibmail.com

Alexey I. Chernyshov¹,

aich@ggf.tsu.ru

¹ National Research Tomsk State University,
36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

The relevance of the work is caused by the need of detailed petrological studies of poorly studied ultrabasic massifs of Russia in terms of their potential on chromite ore, which are currently the raw materials in very short supply for the state.

The main aim of the paper is to characterize petrographic features and chemistry of chromitites from Kharcheruz block of Syum-Keu massif to reconstruct the evolution of material composition of ore chromosphinelides at formation of rocks and their subsequent metamorphic changes, geodynamic conditions of formation of the investigated object.

The methods used in the work: study of silicate and ore minerals in transparent sections and polished sections on the polarizing microscope AxioScope Carl Zeiss; evaluation of chemical composition of chromosphinelides on scanning electron microscope Tescan Vega II LMU, equipped with energy-dispersive spectrometer (detector Si (Li) Standard) INCA Energy 350 and wave-dispersive spectrometer INCA Wave 700.

The results. The authors have made the first attempt to describe in detail the chromitites identified among dunites within poorly studied Kharcheruz block of Syum-Keu massif. By quantifying role of chromosphinelides they are divided into three types: interspersed, thickly interspersed and drain. By textural features the schistose chromitites, which are the product of plastic flow, are marked. By chemical composition ore chromosphinelides are presented by chromites and chromohercynites and exhibit a single linear evolutionary trend, reflecting the transformation of their material composition under influence of high-pressure dynamometamorphism. This process was accompanied by magnesium and aluminum removal from chromosphinelides and increase of chromium, which led to the natural «beautification» of the latter. The second conversion step, associated with the later processes of superimposed regional metamorphism, did not affect significantly the chemical composition of ore chromosphinelides and it is associated with a slight shift of ferrous iron to ferric. The investigated chromosphinelides meet the minerals of upper mantle substrate with a high degree of partial melting (29...40 %), which occurred in spreading zone, adjacent to the hot spot. Later, in the island arc system, this anomalous oceanic lithospheric mantle underwent interaction with boninite melts, initiated by subduction, that led to occurrence of dunite and chromitites with obvious characteristics of above-subduction peridotites.

Key words:

Restites, ultramafics, chromitites, chromosphinelides, chemistry, genesis, geodynamic setting.

REFERENCES

1. Savelyeva G.N., Suslov P.V. Structure and composition of mantle peridotites at the boundary with crustal complexes of ophiolites in the Syumkeu massif, Polar Urals. *Geotectonics*, 2014, no. 5, pp. 3–16. In Rus.
2. Shmelev V.R. *Giperbazity massiva Syum-Keu (Polyarny Ural). Struktura, petrologiya, dinamometamorfizm* [Ultramafic rocks of the Syum-Keu massif, the Polar Urals. Structure, petrology and dynamometamorphism]. Ekaterinburg, UrO AN SSSR, 1991. 79 p.
3. Shmelev V.R. Mantle ultrabasites of ophiolite complexes in the Polar Urals: petrogenesis and geodynamic environments. *Petrology*, 2011, vol. 19, no. 6, pp. 618–640.
4. Chernyshov A.I., Yurichev A.N. The Structural Evolution of Dunite and Chromite Ore from the Kharcheruz Massif, the Polar Urals. *Geotectonics*, 2016, vol. 50, no. 2, pp. 196–208.
5. Dobretsov N.L., Moldavantsev Yu.E., Kazak A.P., Ponomareva L.G., Savelyeva G.N., Savelyev A.A. *Petrologiya i metamorfizm drevnikh ofiolitov (na primere Polyarnogo Urala i Zapadnogo Sayana)* [Petrology and metamorphism of ancient ophiolites (by the example of the Polar Urals and Western Sayan)]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977. 221 p.
6. Chernyshov A.I. *Ultramafity (plasticheskoe techenie, strukturnaya i petrostrukturnaya neodnorodnost)* [Ultramafics (plastic flow, structural and petrostructural heterogeneity)]. Tomsk, Charodey Publ., 2001. 214 p.
7. Reed S.J.B. *Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology*. N.Y., Cambridge University Press, 2005. 189 p.
8. Pavlov N.V. Khimichesky sostav khromshpinelidov v svyazi s petrograficheskimi sostavami porod ultrasnovnykh intruzivov [Chemical composition of chromosphinelides in connection with the petrographic composition of rocks of ultramafic intrusive]. *Trudy Geologicheskogo instituta RAN*, 1949, vol. 103, no. 3, 91 p.
9. Yurichev A.N. Accessory spinels from ultramafites: indicators of formation conditions. *Rudy i metally*, 2013, no. 6, pp. 30–34. In Rus.
10. Yurichev A.N., Chernyshov A.I. Evolution of compositions of spinel mineralization from different formation types of mafic-ultramafic complexes of Kan block (Eastern Sayan). *Otechestvennaya geologiya*, 2012, no. 2, pp. 42–50. In Rus.
11. Ghazi J.M., Moazzen M., Rahghoshay M., Moghadam H.S. The geodynamic setting of the Nain ophiolites, Central Iran: evidence from chromian spinels in the chromitites and associated rocks. *Ophioliti*, 2011, vol. 36, no. 1, pp. 59–76.
12. Barnes S.J., Roeder P.L. The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks. *Journal of petrology*, 2001, vol. 42, no. 12, pp. 2279–2302.
13. Lesnov F.P., Podlipsky M.Yu. Geochemistry of accessory chromosphinelides from rocks of Ergaksky chromite-bearing ultramafic massif and conditions of its formation (West Sayan). *Doklady Earth Sciences*, 2008, vol. 422, no. 5, pp. 660–664. In Rus.

14. Dick H.J.B., Bullen T. Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1984, vol. 84, pp. 54–76.
15. Makeev A.B. *Mineralogiya alpinotipnykh ultrabazitov Urala* [Mineralogy of alpine ultrabazites of the Ural]. St. Petersburg, Nauka Publ., 1992. 197 p.
16. Yurichev A.N., Chernyshov A.I., Kulikov A.S. Ore mineralization of the Agardag ultramafic massif (Republic of Tyva). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 323, no. 1, pp. 130–136. In Rus.
17. Perevozchikov B.V., Plotnikov A.V., Makiev T.T. Priroda variatsiy sostava rudnoy i aktsessornoy khromshpineli ultrabazitovogo massiva Syum-Keu (Polyarny Ural) [Nature of variations in composition of ore and accessory chromespinels from Syum-Kaew ultrabasic massif (Polar Urals)]. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*, 2007, no. 4, pp. 32–39.
18. Yurichev A.N. Kalninsky ultramafic massif of Western Sayan: ore mineralization and its genetic nature. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2015, vol. 326, no. 2, pp. 61–69. In Rus.
19. Melcher F., Grum W., Simon G., Thalhammer T.V., Stumpfl E.F. Petrogenesis of the Ophiolitic Giant Chromite Deposits of Kempirsai, Kazakhstan: a Study of Solid and Fluid Inclusions in Chromite. *Journal of Petrology*, 1997, vol. 38, no. 10, pp. 1419–1458.
20. Irvine T.N. Chromian spinel as a petrogenetic indicator. 1. Theory. *Can. J. Earth Sci.*, 1965, vol. 2, pp. 648–672.
21. Turkin A.I., Sobolev N.V. Pyrope-knorringite garnets: overview of experimental data and natural parageneses. *Russian Geology and Geophysics*, 2009, vol. 50, no. 12, pp. 1169–1182.
22. Brey G.P., Doroshev A.M., Girs A.V., Turkin A.I. Garnet-spinel-olivine-orthopyroxene equilibria in the FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-Cr₂O₃ system: I. Composition and molar volumes of minerals. *Eur. J. Mineral.*, 1999, vol. 11, no. 4, pp. 599–617.
23. Sustavov S.G., Vakhrusheva N.V. Khromovy rutil v khromititakh Engayskoy ploshchadi massiva Ray-Iz [Chromic rutile in chromitites of Engaysky are of Rai-Iz massif]. *Vestnik Uralskogo otdeleniya Rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva*, 2010, no. 7, pp. 159–162.
24. Yang J., Bai W., Fang Q., Meng F., Chen S., Zhang Zh., Rong H. Discovery of diamond and an unusual mineral group from the podiform chromite ore Polar Ural. *Geology in China*, 2007, vol. 34, pp. 950–953.
25. Yang J., Meng F., Xu X., Robinson P.T., Dilek Y.D., Makeyev A.B., Wirth R., Wiedenbeck M., Cliff John. Diamonds, native elements and metal alloys from chromitites of the Ray-Iz ophiolite of the Polar Urals. *Gondwana Research*, 2015, vol. 27, no. 2, pp. 459–485.
26. Makeev A.V., Bryanchaninova N.I. *Topomineralogiya ultrabazitov Polyarnogo Urala* [Topomineralogy of ultrabazites of the Polar Urals]. St. Petersburg, Nauka Publ., 1999. 252 p.
27. Perevozchikov B.V., Nabiullin V.I. Metodicheskie osnovy otsenki resursnogo potentsiala khromovykh rud ofiolitovykh ultrabazitov [Methodical bases for estimating resource potential of chrome ore from ophiolitic ultramafic rocks]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*, 2007, no. 4, pp. 91–105.
28. Puchkov V.N., Shteynberg D.S. *Stroenie, evolyutsiya i minerageniya giperbazitovogo massiva Ray-Iz* [Structure, evolution, and minerageny of the Rai-Iz ultrabasic massif]. Sverdlovsk, Uro AN SSSR, 1990. 228 p.
29. Batanova V.G., Sobolev A.V., Lyaskovskaya Z.E., Savelieva G.N. Peridotites from the Kamchatsky mys: evidence of oceanic mantle melting near a hotspot. *Russian Geology and Geophysics*, 2014, vol. 55, no. 12, pp. 1395–1403.

Received: 23 June 2016.

Information about the authors

Alexey N. Yurichev, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk State University.

Alexey I. Chernyshov, Dr. Sc., professor, head of the department, National Research Tomsk State University.